

Эксперимент КЕДР

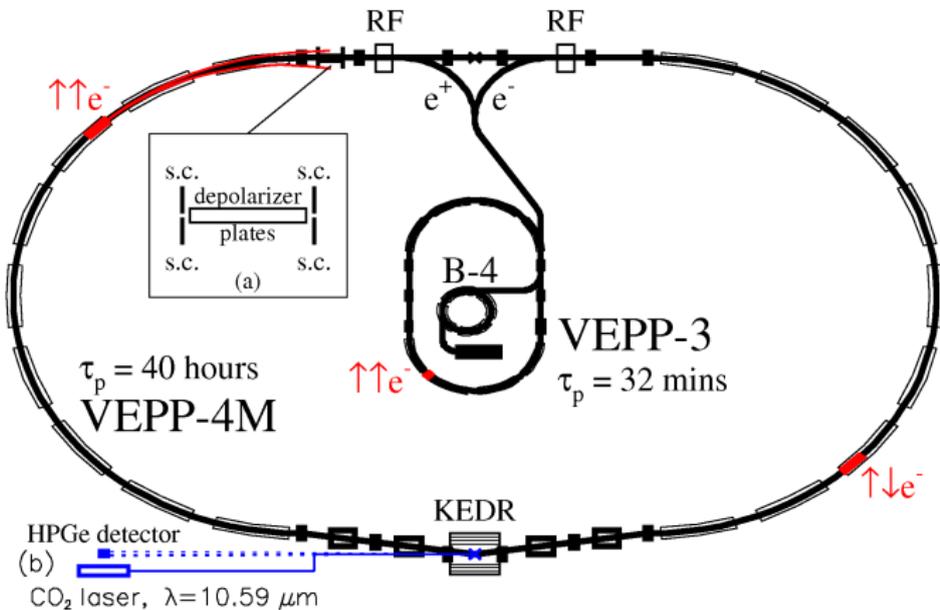
В. Блинов

Институт Ядерной Физики им. Будкера СО РАН

План:



- 1 Комплекс ВЭПП–4М + КЕДР
- 2 Физическая программа
- 3 Анализ данных
- 4 Программа набора статистики и модернизации
- 5 Заключение



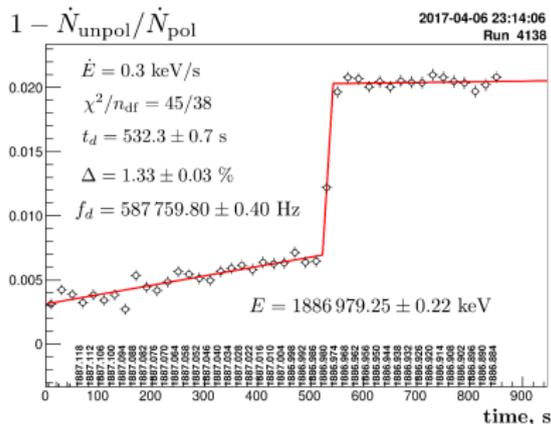
Энергия пучка: $1 \div 5$ ГэВ

Число банчей: 2×2

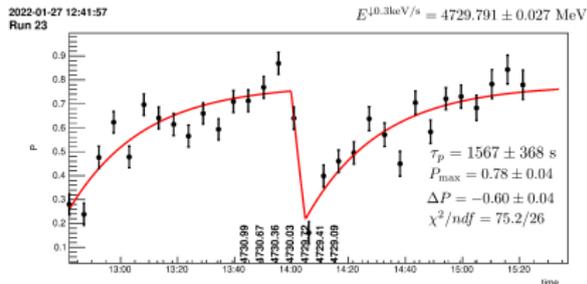
Светимость: $(1 \div 80) \times 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$

Метод резонансной деполяризации:

- $E < 3 \text{ ГэВ}$: внутрисгустковое рассеяние
 $\Delta E/E = (5 \div 15) \times 10^{-6}$, $(10 \div 30) \text{ кэВ}$
 За время эксперимента проведено 3089 калибровок энергии



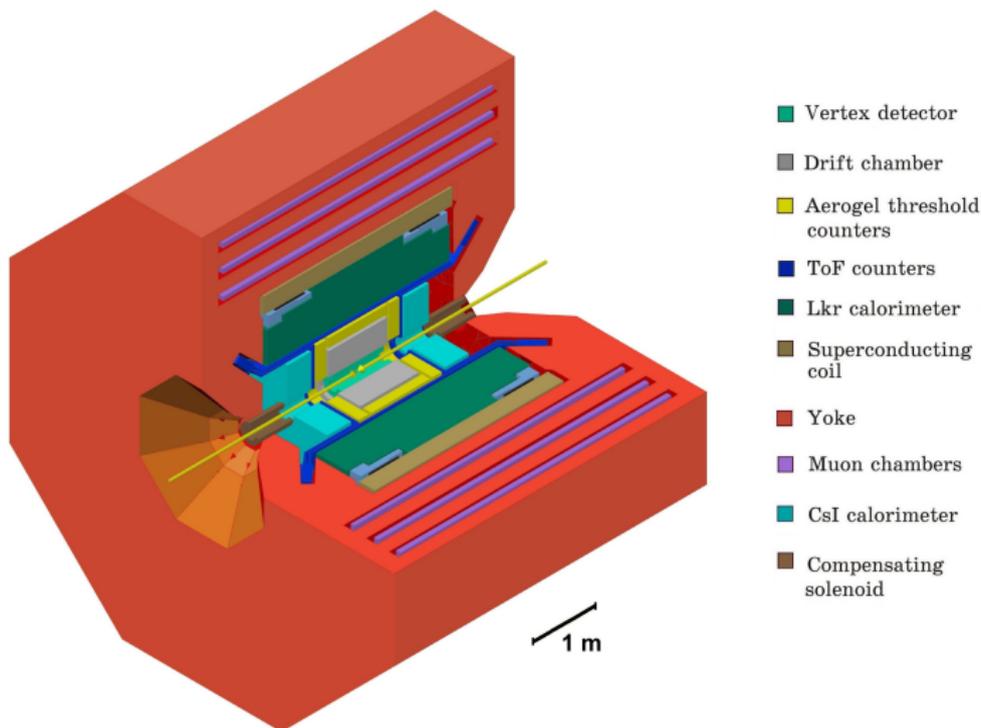
- $E > 3 \text{ ГэВ}$: асимметрия рассеяния
 циркулярно поляризованных лазерных
 фотонов
 $\Delta E/E = 5 \times 10^{-6}$, $(10 \div 30) \text{ кэВ}$



Физические задачи

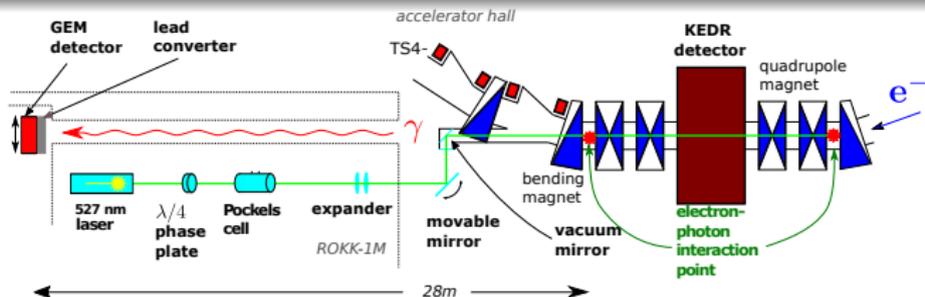
- Измерение масс элементарных частиц
 - Низкая энергия: J/ψ , $\psi(2S)$, $\psi(3770)$, D^0 , D^\pm -мезоны, τ -лептон
 - Высокая энергия: $\Upsilon(1s)$, $\Upsilon(2s)$, $\Upsilon(3s)$, $\Upsilon(4s)$ – мезоны
- Измерения лептонных ширин ψ и Υ – мезонов
- Измерение R в области $2E = 2 \div 10$ ГэВ
- Измерение сечения $\gamma\gamma \rightarrow hadrons$ и другие 2γ -процессы
- Ряд других процессов



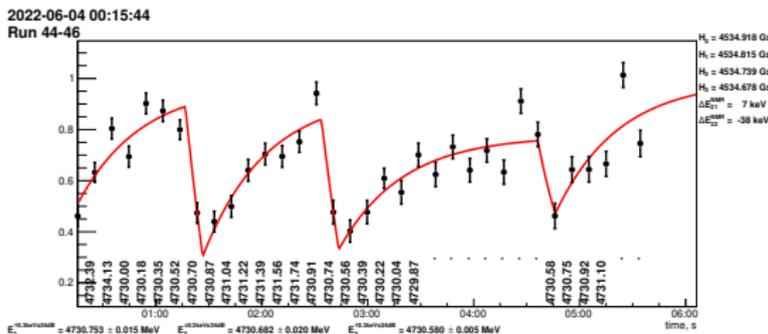


- Все системы детектора находятся в пригодном для завершения физической программы состоянии

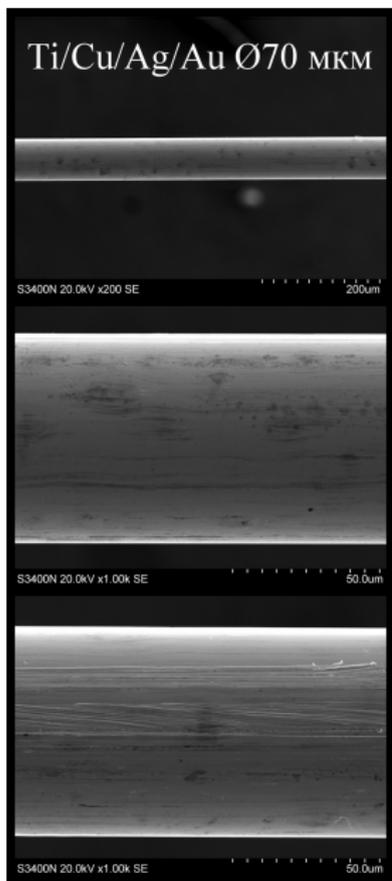
- Модернизация инженерных систем детектора
 - замена основного и резервного мотор – генераторов (100 кВт)
 - замена производителя ДМЭ
- Лазерный поляриметр
- Новая дрейфовая камера
- Модернизация системы высоковольтного питания (переход на CAEN)
 - мюонная система (ОК)
 - тушековский поляриметр (ОК)
 - Дрейфовая камера (в процессе)
 - СРРЭ – GEM (в процессе)



- Импульсный Nd:YLF 527 нм лазер (2 Вт, 4 кГц, 5 нс)
- Управление поляризацией лазера с помощью ячейки Поக்கельса
- Двухкоординатный пиксельный детектор на основе ГЭУ.
- Выполнено 25 калибровок энергии в пике $\Upsilon(1S)$



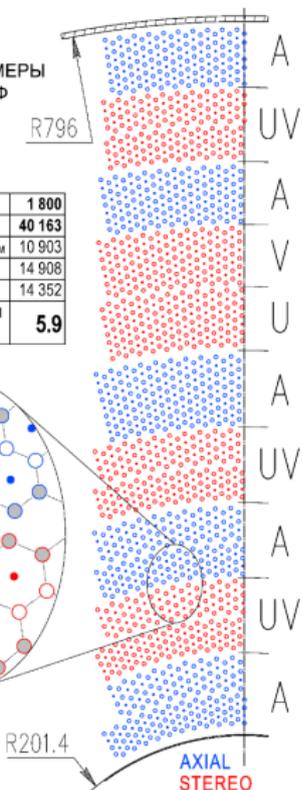
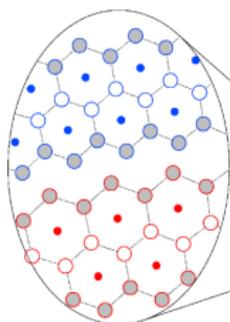
- Изготовлен новый узел ввода лазерного излучения с охлаждаемым водой зеркалом
 \Rightarrow Повышение скорости в $5 \div 10$ раз



- Изготовлена золочёная медно-титановая проволока диаметром 70 мкм (АО "Денисовский завод") для использования в качестве экранов между суперслоями
- Подготовка ДК к натяжению проволочек

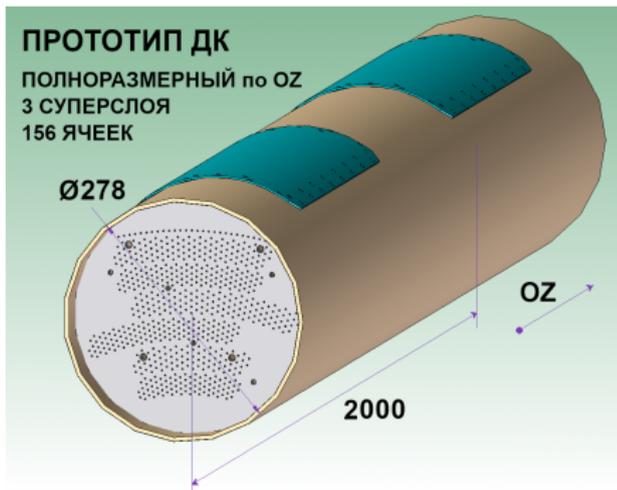
ПРОВОЛОЧНАЯ
СТРУКТУРА
ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ
ДЕТЕКТОРА СЧФ

ДЛИНА ПРОВОЛОЧЕК, ММ	1 800
КОЛ-ВО ПРОВОЛОЧЕК:	40 163
● СИГНАЛЬНЫЕ 25 МММ	10 903
● ПОЛЕВЬЕ 100 МММ	14 908
○ ПОЛЕВЬЕ 125 МММ	14 352
НАГРУЗКА ОТ НАТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОЧЕК, ТОНН	5.9



NIM A, 1009, 165490 (2021)

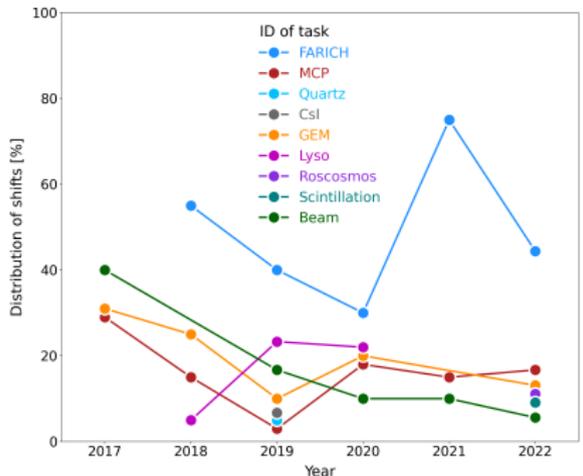
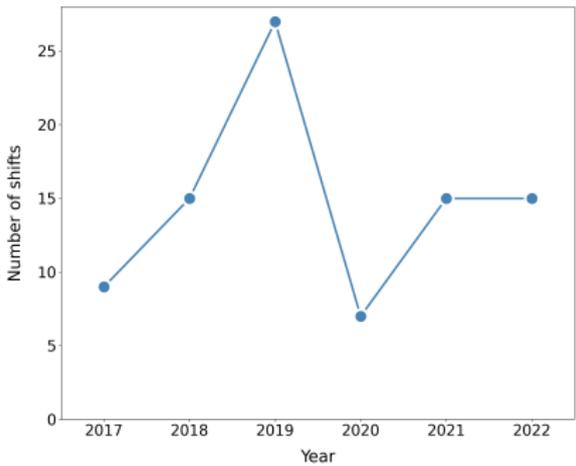
- Завершается конструирование прототипа ДК

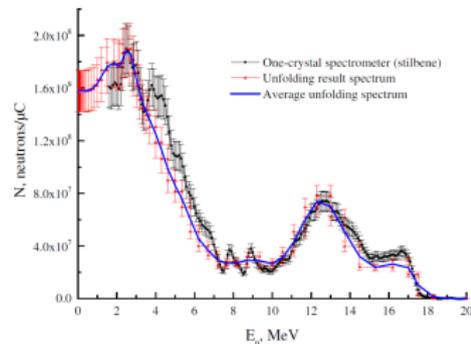
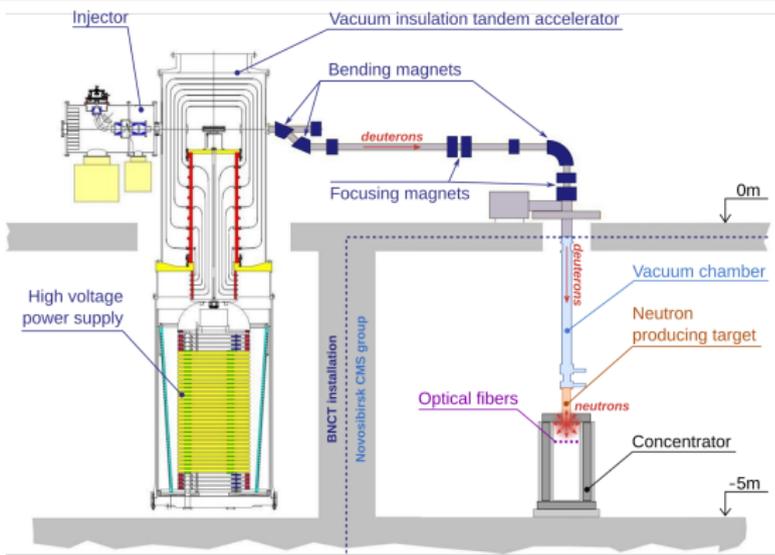


- В НИИКАМ идет изготовление из углепластика
 - стягивающих шпилек
 - торцевых дисков малого прототипа
 - спиц для натяжения проволочек
- На АО "Денисовский завод" идут подготовительные работы к производству золоченной проволоки из алюминиевого сплава диаметром 100 и 125 мкм



- Диапазон энергий: 100 ÷ 3500 МэВ
- Точность определения энергии: лучше 1.8 % (≥ 1000 МэВ)
- Средняя скорость счета: 70–100 Гц

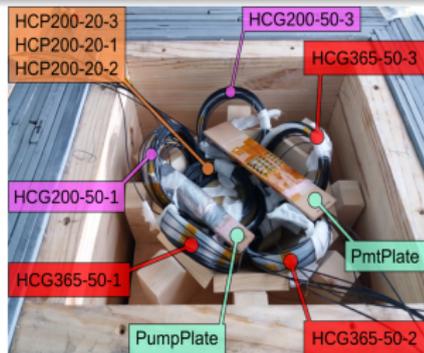
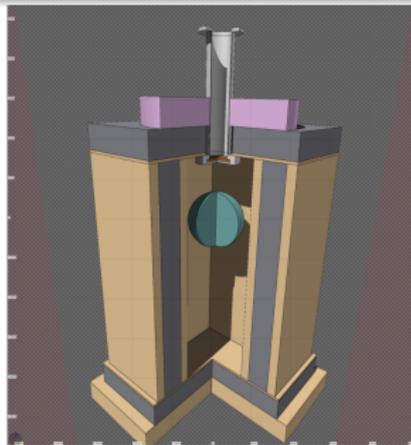




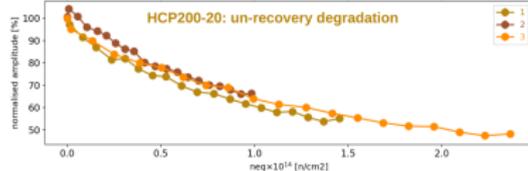
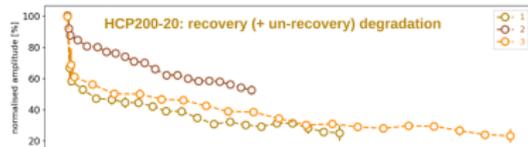
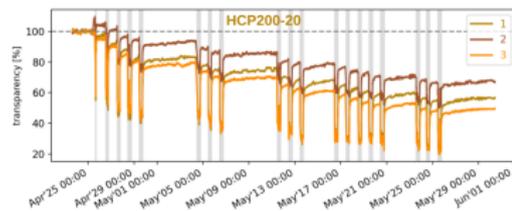
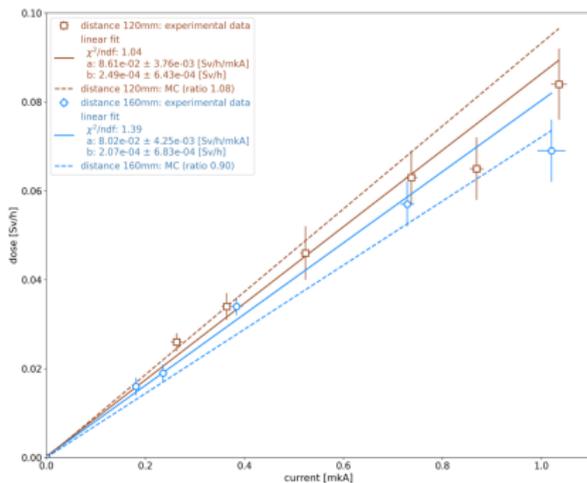
- Основные ядерные реакции:
 $d + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be} + n + 15.028 \text{ МэВ}$
 $d + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^2\text{He} + n + 15.122 \text{ МэВ}$

В рамках эксперимента в 2022 году быстрыми нейтронами облучались:

- три типа оптоволоконных кабелей по линии CMS
- два типа SiPM и восемь типов преобразователей напряжения для камерной электроники по линии ATLAS
- алмазный детектор нейтронов и пластины из карбида бора для Международного термоядерного реактора ИТЭР
- неодимовые магниты для мощного линака Института теоретической и экспериментальной физики (Москва)
- газовые сенсоры на основе фталоцианинов титанила для НГУ



Набор дозы 10^{14} neq/cm² за 185 часов



- Набор статистики при $2E = 7$ ГэВ, $\int Ldt = 7.6$ пб⁻¹, 15 недель

Публикации 2022 года

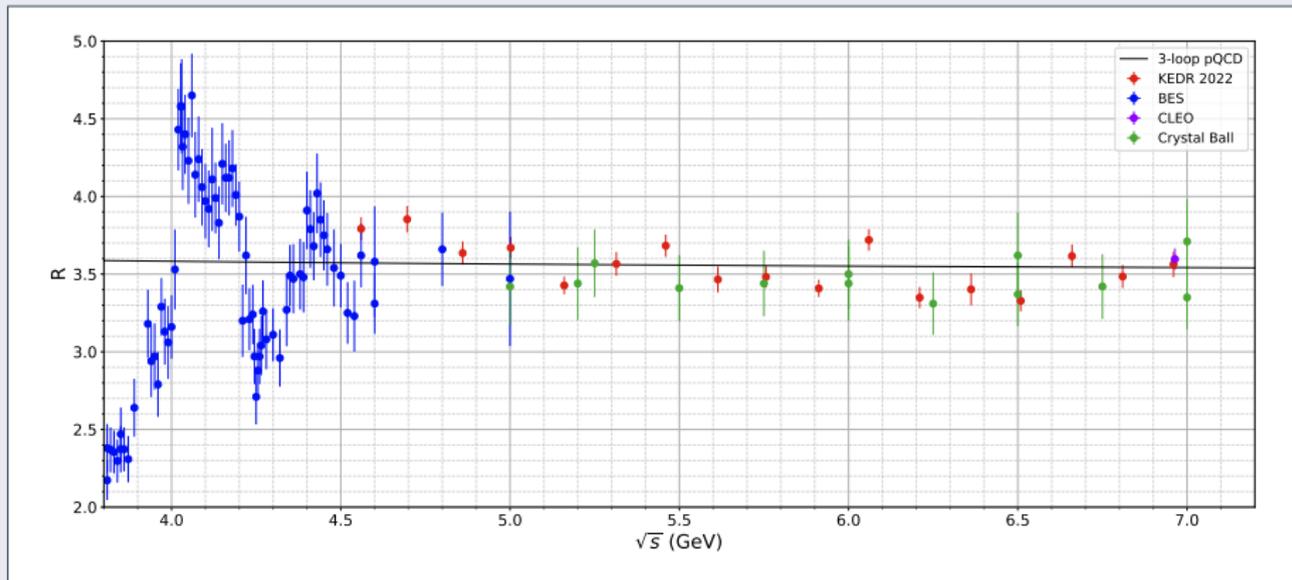
- Опубликовано 2 статьи
- Представлено 2 доклада
- Принят в печать обзор "Эксперименты с детектором КЕДР на e^+e^- – коллайдере ВЭПП-4М в области энергии $\sqrt{s} = 1.84 \div 3.88$ ГэВ" (ЭЧАЯ, 2023.Т.54, вып.1.С.190–262)



Проведено 22 измерения с лучшей в мире точностью

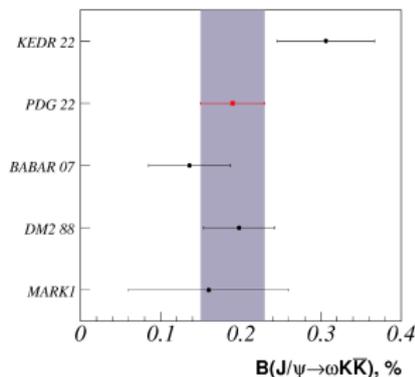
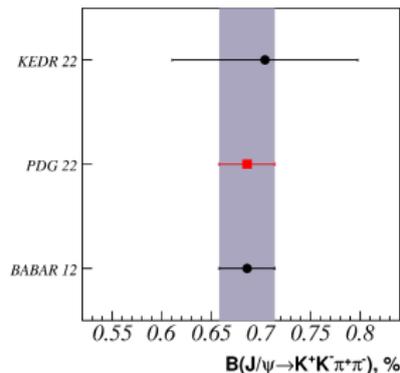
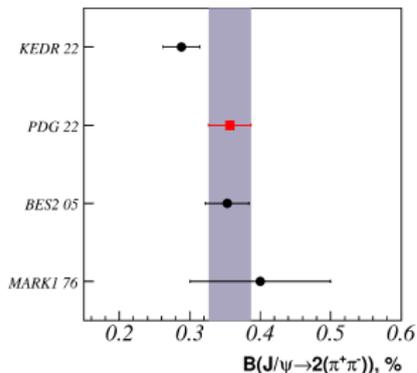
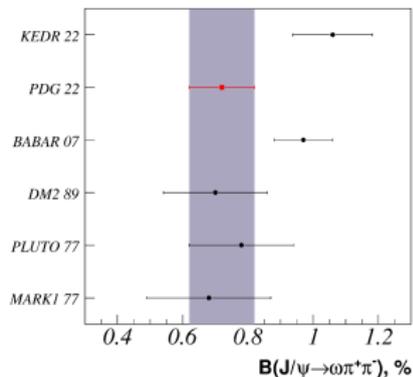
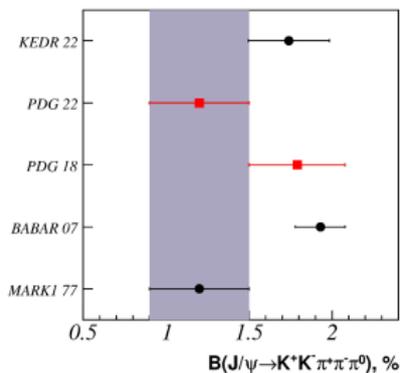
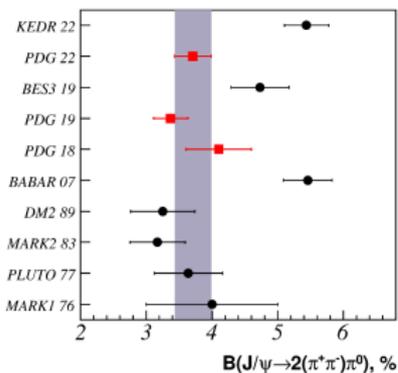
- I сканирование, $\int Ldt = 6.95 \text{ пб}^{-1}$
- II сканирование, $\int Ldt = 6.77 \text{ пб}^{-1}$

Результаты измерения R в области $2E = 3.8 \div 7.2 \text{ ГэВ}$



- КЕДР: измерение R при $2E = (4.5 \div 7.0) \text{ ГэВ}$ (Т.Харламова)

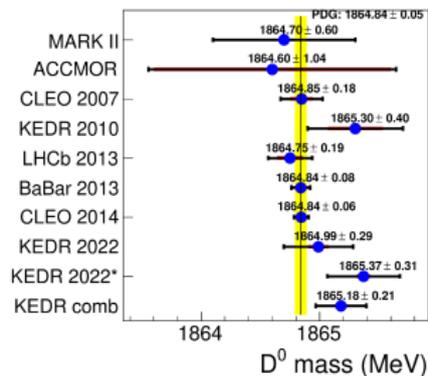
● Измерение бранчингов распадов J/ψ в конечные состояния с четырьмя или пятью мезонами (В.Малышев)



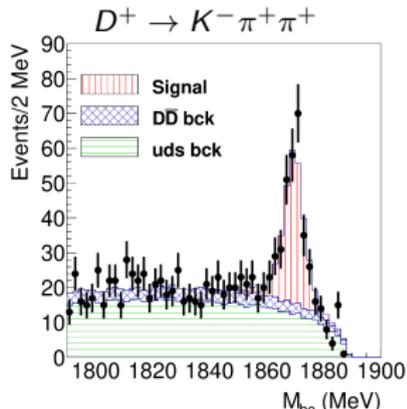
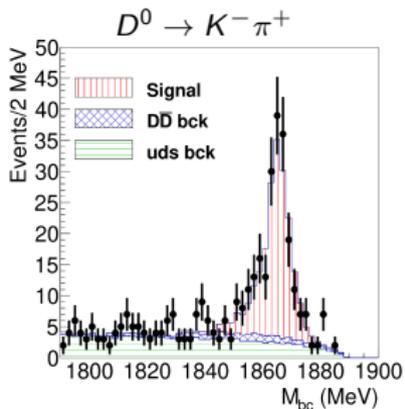
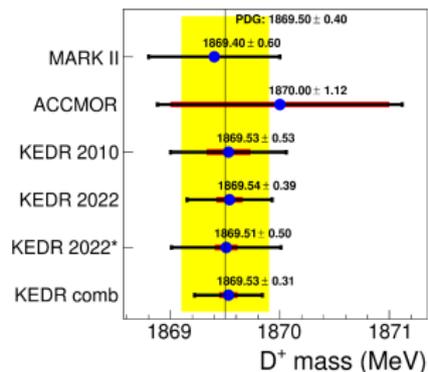
● Eur.Phys.JC (2022) 82:938

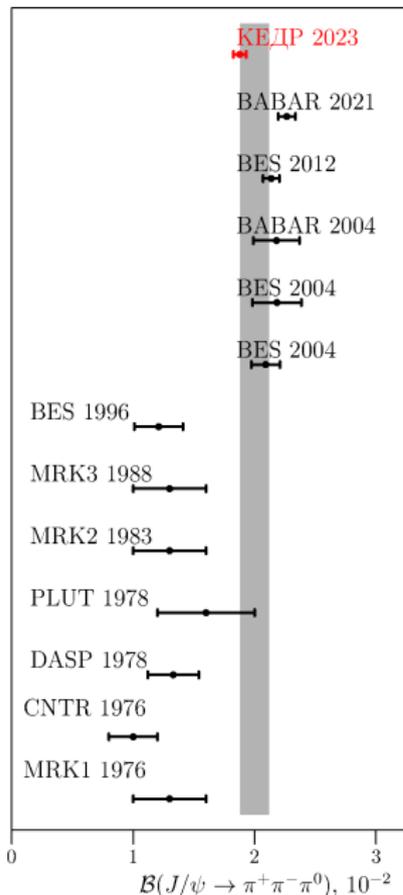
- Измерение масс D -мезонов (И.Овтин)
- 2004 г. (0.9 пб^{-1}), переобработка - KEDR 2022*:
 - $M_{D^0} = 1865.370 \pm 0.300 \pm 0.058 \text{ МэВ}$
 - $M_{D^+} = 1869.510 \pm 0.490 \pm 0.103 \text{ МэВ}$
- 2016-2017 гг. (4.0 пб^{-1}) - KEDR 2022:
 - $M_{D^0} = 1864.990 \pm 0.280 \pm 0.087 \text{ МэВ}$
 - $M_{D^+} = 1869.540 \pm 0.370 \pm 0.120 \text{ МэВ}$
- Объединение результатов - KEDR comb:
 - $M_{D^0} = 1865.180 \pm 0.206 \pm 0.053 \text{ МэВ}$
 - $M_{D^+} = 1869.530 \pm 0.298 \pm 0.084 \text{ МэВ}$

D^0 mass measurements



D^+ mass measurements



● Анализ процесса $J/\psi \rightarrow \rho\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ (К.Тодышев)


- Average: $B(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) = (2.00 \pm 0.12)\%$ (SF 3.0)

КЕДР: $B(J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) = (1.878 \pm 0.013 \pm 0.051)\%$

$$B(J/\psi \rightarrow \rho\pi) = (2.072 \pm 0.017 \pm 0.062)\%$$

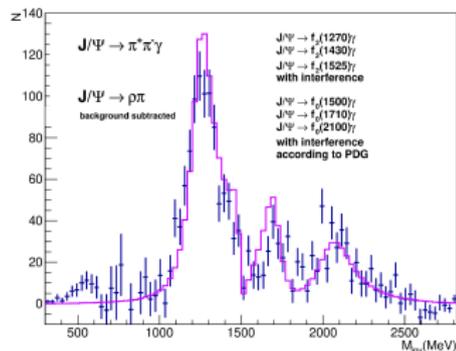
Ведётся работа над публикацией в журнале JHEP
[arXiv:2211.13520]

- Метод анализа события распада $J/\psi \rightarrow \rho\pi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ опубликован в LHEP, 329 (2022) [arXiv:2208.13517]

- Анализ процесса $J/\psi \rightarrow \rho\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$ (Д.Кыштымов)
- PDG: $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \rho\eta) = (1.93 \pm 0.23) \times 10^{-4}$
- Наблюдается около 100 событий
- Ожидается значительный вклад от интерференции с процессом $J/\psi \rightarrow \omega\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma\gamma$
- PDG: $\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow \omega\eta) = (1.74 \pm 0.2) \times 10^{-3}$

Двухфотонная физика

- Для проверки эффективности регистрации РЭ на статистике 2022 года ($\int L dt = 7.5 \text{ пб}^{-1}$, $E = 3.5 \text{ ГэВ}$) выделено 14×10^3 событий $ee \rightarrow ee + LL$
- Обнаружена 20% нехватка таких событий в сравнении с моделированием
- Проведено исследование работы триггера на различных процессах:
 - 20% потеря событий $ee \rightarrow ee + LL$ появилась в 2020 году при $E > 3 \text{ ГэВ}$
 - получено значение $R = 3.44 \pm 0.04 \pm 0.10$ ($2E = 7 \text{ ГэВ}$) при ожидаемом значении 3.47 \Rightarrow многочастичный триггер работает !
 - исследован распад $J/\psi \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$
- Идет поиск неисправности во вторичном триггере
- Из-за проблем с триггером выделения событий $\gamma\gamma \rightarrow \text{hadrons}$ не велось



- Набор статистики при

$$\left. \begin{array}{l} 2E = 9.46 \text{ ГэВ}, \quad \Upsilon(1S) \\ 2E = 10.02 \text{ ГэВ}, \quad \Upsilon(2S) \\ 2E = 10.36 \text{ ГэВ}, \quad \Upsilon(3S) \end{array} \right\} \int L dt = 10 \div 30 \text{ пб}^{-1}$$

- Набор при $2E = 7.0 \div 10^* \text{ ГэВ}$, $\int L dt = 150 \rightarrow 50 \text{ пб}^{-1}$.
Двухфотонная физика.

* Повышение энергии с 3.5 ГэВ до 5 ГэВ в пучке позволит обогатить физическую программу измерением масс и лептонных ширин семейства Υ – мезонов при наборе интеграла светимости для двухфотонной физики.

Команда установки детектор КЕДР (фото А.А.Осипова)



Спасибо за внимание !